

ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО

УДК 630:232

**Сучасні технології лісовідновлення
в ялицево-букових лісостанах (*Abies alba* – *Fagus sylvatica*)****Коляджин І.Ф.** , **Коциловський Б.А.** , **Коляджин Ю.І.** ,
Гуцуляк М.І. , **Дідик В.М.** *Карпатський національний університет імені Василя Стефаника* Коляджин І.Ф. E-mail: koliadjunif@gmail.com

Коляджин І.Ф., Коциловський Б.А., Коляджин Ю.І., Гуцуляк М.І., Дідик В.М. Сучасні технології лісовідновлення в ялицево-букових лісостанах (*Abies alba* – *Fagus sylvatica*). «Агробіологія», 2025. № 2. С. 320–328.

Koliadzhyn I., Kotsylovskiy B., Koliadzhyn Yu., Hutsuliak M., Didyk V. Modern technologies of reforestation in fir-beech forests (*Abies alba* – *Fagus sylvatica*). «Agrobiology», 2025. no. 2, pp. 320–328.

Рукопис отримано: 01.10.2025 р.

Прийнято: 16.10.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2025-199-2-320-328

В умовах науково-технічного прогресу дбайливе ставлення до лісів, раціональне використання їхніх багатств, турбота про відновлення та підвищення їх продуктивності, посилення середовищевітвірних і соціальних функцій лісу є одним із головних завдань перед лісівниками України.

У статті висвітлено сучасні підходи до лісовідновлення в ялицево-букових лісостанах (*Abies alba* Mill. – *Fagus sylvatica* L.), які є важливим компонентом гірських і передгірських лісів Центральної та Східної Європи. З огляду на посилення антропогенного навантаження та кліматичні зміни обґрунтовано необхідність удосконалення технологій відновлення цих лісових екосистем на засадах сталого лісокористування. У дослідженні проаналізовано ефективність сучасних способів лісовідновлення, зокрема штучного і комбінованого поновлення, а також різних методів розміщення посадкового матеріалу – рядкового та групового (віконного, хвильового). Особливу увагу приділено впливу способу посадки на приживлюваність сіянців, динаміку росту за висотою і діаметром, формування стовбура та загальну стійкість насаджень. Показано, що групові методи посадки забезпечують кращі світлові умови, сприяють інтенсивнішому приросту та формуванню більш стійкої просторової структури деревостанів у порівнянні з традиційними рядковими посадками. Проаналізовано вікові особливості розвитку ялицево-букових насаджень, що дозволило встановити закономірності зміни ростових показників на різних етапах онтогенезу. Наголошено на доцільності поєднання сучасних технологій лісовідновлення з принципами наближеного до природи лісівництва, що сприяє підвищенню продуктивності, екологічної стабільності та біорізноманіття ялицево-букових лісів. Отримані узагальнення можуть бути використані під час розроблення практичних рекомендацій щодо відновлення та формування корінних ялицево-букових лісостанів у різних лісорослинних умовах.

Вивчення лісовідновних процесів у букових і ялицевих лісах показало, що бук європейський добре відновлюється під материнським наметом лісостанів майже в усіх основних типах лісу, найкраще – у вологих бучинах, яличниках і суяличниках за середньої повноти лісостанів.

Ключові слова: лісові ресурси, раціональне лісокористування, лісовідновлення, продуктивність лісів, підвищення лісистості, типи лісу, бук європейський, ялиця біла, лісостани.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Впродовж останніх десятиліть мішані гірські ліси за участю *Fagus sylvatica* L., *Abies alba* Mill. та *Picea abies* (L.) Karst., які в Європі займають понад 10 млн га, виявляють підвищену чутливість до кліматичних змін [1, 2]. Це зумовлено тим, що поширення *Abies alba* та *Fagus sylvatica* вздовж висотних градієнтів лімітується їх відносно низькою стійкістю до літніх посух і дії низьких температур [3–6]. Через подібні екологічні потреби бук і ялиця перебувають у тісній конкурентній взаємодії за основні ресурси середовища – вологу, поживні елементи та світло, що найбільш виражено на початкових етапах формування деревостанів [7–10]. Ялицево-букові ліси – своєрідні лісові екосистеми, у структурі деревостанів яких переважає бук європейський (*Fagus sylvatica* L.), мають визначальне значення для збереження природного біорізноманіття та забезпечують підвищення загальної екологічної стійкості лісових екосистем [11, 12]. У структурі карпатських лісів провідну роль відіграють основні лісоутворювальні породи, серед яких бук лісовий (*Fagus sylvatica* L.), на який припадає приблизно 35 % площ лісових насаджень [13]. Ялиця біла (*Abies alba* Mill.) є однією з провідних лісоутворювальних порід, що домінує у трьох із десяти лісорослинних смуг та трапляється у складі насаджень ще в трьох смугах як супутній компонент [14]. Ялицеві деревостани в Українських Карпатах належать до числа найпоширеніших типів лісових насаджень і за площею поширення посідають третє місце після бука лісового та ялини європейської [15–17].

У ряді досліджень зазначено, що впродовж останніх десятиліть у мішаних гірських лісах спостерігається зростання проблем із природним відновленням ялини, ялиці та бука внаслідок посух [18]. З огляду на високу вразливість цих екосистем, актуальним є проведення детальних досліджень та впровадження конкретних заходів, сталих процесів і стратегій управління для підвищення стійкості гірських ялицево-букових лісів.

Дослідження гірських ялицево-букових лісів, зокрема їхньої структури та продуктивності, є обмеженими як за кількістю, так і регіональним охопленням [19, 20]. Водночас такі дослідження є необхідними для розробки ефективних методів лісовідновлення, які враховують поточний стан довкілля та його потенційні майбутні зміни.

Мета дослідження полягала у науковому обґрунтуванні та оцінці ефективності сучасних технологій лісовідновлення в ялицево-букових лісостанах (*Abies alba* Mill. – *Fagus sylvatica* L.) з урахуванням їх біоекологічних особливостей, типів лісорослинних умов і впливу господарських заходів, з метою забезпечення формування стійких, продуктивних і біологічно різноманітних лісових екосистем.

Матеріал і методи дослідження. Для проведення дослідження використано матеріали лісових дослідних господарств Карпатського регіону [21]. Основні методи включали: лісовпорядкувальні обстеження – визначення вікових груп, щільності насаджень, середнього приросту деревини. Аналіз посадкового матеріалу – оцінка якості сіяньців ялиці європейської та бука лісового за розміром кореневої системи, висотою та діаметром стовбура. Польові експерименти – застосування різних технологій посадки: класична рядкова посадка, групова посадка, «віконна» та «хвильова» методики. Моніторинг росту та приживлюваності – вимірювання висоти і діаметра дерев через 1, 3, 5 та 10 років після посадки. Статистичний аналіз – оцінка середньорічного приросту, густоти насаджень і приживлюваності за допомогою методів дисперсійного аналізу та кореляційних залежностей.

Результати дослідження та обговорення. Було проведено експерименти із різною щільністю посадок: 2,5–3,0 тис. шт./га – оптимальна густина; забезпечує максимальний продуктивний приріст на гектар та рівномірний розвиток дерев; 4,0–4,5 тис. шт./га – перевищення густоти спричиняє пригнічення росту, високий ризик розвитку грибкових хвороб і низьку приживлюваність молодих сіяньців (78–85 %); 1,5–2,0 тис. шт./га – зменшення густоти збільшує приріст окремих дерев (до 0,65 м/рік), але загальна біомаса на гектар знижується, що економічно менш вигідно.

Це підтверджує необхідність точного планування густоти насаджень залежно від цілей вирощування (лісове господарство, рекреація, біорізноманіття). Дослідження показали чітку залежність середньорічного приросту від віку та технології посадки. Схеми посадки типу «вікна» і «хвилі» використовували у лісовідновленні та реконструкції різновікових насаджень з метою наближення їх структури до природної, підвищення біологічної стійкості й забезпечення безперервності лісоутворювального процесу (рис. 1).



Рис. 1. Схема посадки «вікна» та «хвилі».

Схема «вікна» передбачала створення локальних прогалів у полозі деревостану з подальшим відновленням лісу, тимчасом схема «хвилі» ґрунтувалась на поступовому смугово-хвилястому введенні молодих дерев, що імітує природну динаміку оновлення лісу.

Застосування схем «вікна» та «хвилі» є ефективним у ялицево-букових лісах, оскільки відповідає їх природній динаміці розвитку, підвищує адаптивний потенціал насаджень та стійкість до абіотичних і біотичних стресових чинників. Ці дані свідчать про ефективність сучасних технологій у підвищенні продуктивності насаджень на всіх етапах росту.

Рисунок 2 відображає зростання середньорічного приросту ялицево-букових насаджень із віком незалежно від схеми посадки. Найвищі значення приросту зафіксовано за схемою «хвилі», дещо нижчі – за схемою «вікна», тимчасом рядкова посадка характеризується мінімальними показниками у всіх вікових групах. Це свідчить про вищу ефективність просторово-диференційованих схем посадки щодо стимулювання ростових процесів.

Результати досліджень показали, що в молодших насадженнях віком 1–5 років середня висота рослин становила 1,2–1,5 м, а діаметр – 0,5–0,7 см (табл. 1). На цьому етапі спостерігалася висока приживлюваність сіянців (90–95 %), що обумовлено інтенсивним укоріненням. Найбільший річний приріст

зафіксовано за хвилявого способу посадки (0,58 м), тимчасом за рядкового та «віконного» методів він був дещо нижчим.

У вікових групах 6–10 та 11–20 років спостерігається інтенсивне наростання висоти й діаметра дерев, стабільний приріст і збереження високої життєздатності. Перевага за величиною приросту простежується у віконних та хвилявих способів посадки, що пов'язано з кращими світловими умовами.

У насадженнях старших за 20 років приживлюваність дещо знижується (80–90 %), однак максимальний приріст і формування головного стовбура спостерігаються саме за групових методів посадки, що свідчить про їх ефективність у довготривалій перспективі. Отримані результати підтверджують ефективність сучасних технологій вирощування ялицево-букових насаджень, особливо методів, що комбінують класичну і групову посадки. Групові та хвиляві методи дозволяють забезпечити більш рівномірний підріст та зменшити конкуренцію між деревами. Використання якісного посадкового матеріалу та підготовка ґрунту значно підвищують приживлюваність і сприяють швидкому росту дерев. Оптимізація густоти насаджень має вирішальне значення для формування продуктивного деревостану та підтримання біорізноманіття.

Економічна ефективність технологій проявляється у скороченні строків до створення високопродуктивних насаджень і зменшенні

затрат на догляд за підростом. Сучасні технології вирощування ялицево-букових насаджень, зокрема групова і хвильова посадки, підвищують продуктивність деревостану на 15–20 % порівняно з класичною посадкою. Якісний посадковий матеріал та правильна підготовка ґрунту є критичними факторами

для приживлюваності сіянців. Оптимальна густина посадок для ялицево-букових насаджень становить 2,5–3,0 тис. шт./га. Використання сучасних технологій дозволяє досягти високої продуктивності насаджень та забезпечити сталість лісових екосистем у помірному кліматі.

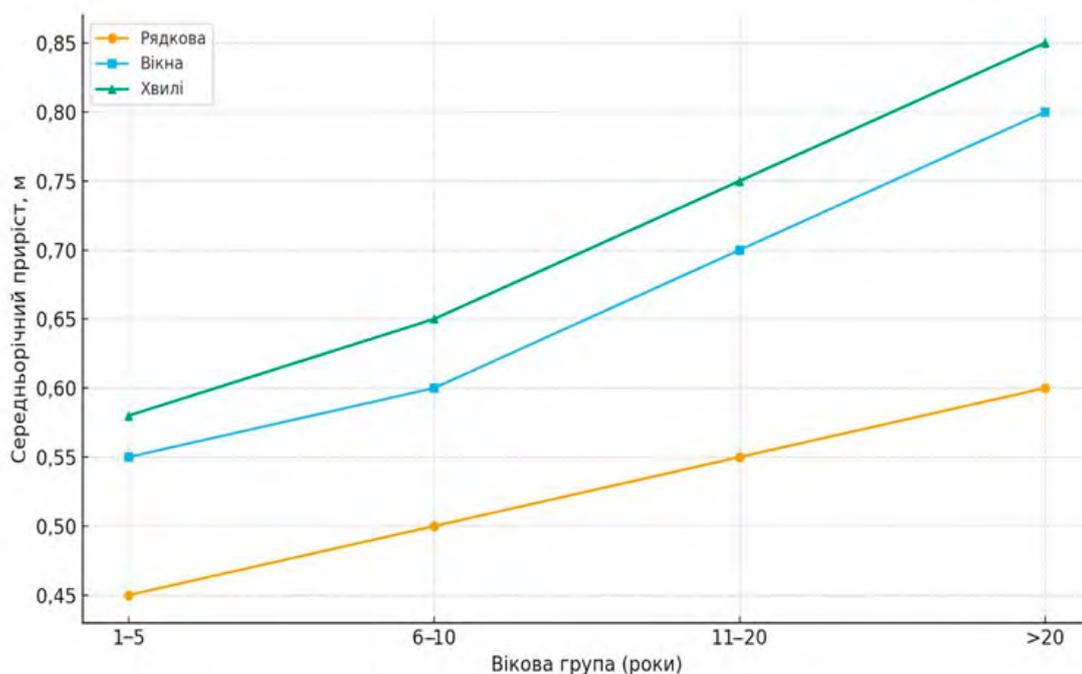


Рис. 2. Середньорічний приріст ялицево-букових насаджень по вікових групах для трьох методів посадки: рядкова, вікна та хвильова.

Таблиця 1 – Характеристика показників приросту по віку та технології посадки

Вікова група (роки)	Висота, м	Діаметр, см	Приріст за методами посадки	Приживлюваність	Примітка
1–5	1,2–1,5	0,5–0,7	Рядкова: 0,45 м Вікна: 0,55 м Хвилі: 0,58 м	90–95 %	Активне укорінення сіянців
6–10	3,0–4,5	2,0–3,0	Рядкова: 0,50 м Вікна: 0,60 м Хвилі: 0,65 м	88–95 %	Приріст стимулює доступ світла
11–20	7,0–10,0	5,0–7,5	Рядкова: 0,55 м Вікна: 0,70 м Хвилі: 0,75 м	85–93 %	Стабільний приріст у групових посадках
>20	12,0–18,0	12,0–15,0	Рядкова: 0,60 м Вікна: 0,80 м Хвилі: 0,85 м	80–90 %	Максимальний приріст у групових посадках; формування головного стовбура

У процесі проведення дослідження було здійснено комплексний аналіз стану та динаміки розвитку ялицево-букових насаджень у різних умовах зростання. Особливу увагу приділено біометричним характеристикам деревостанів, структурі насаджень за віком, густотою, складом, а також оцінці приросту і запасів деревини. Крім того, проведено оцінку впливу різних технологічних підходів до вирощування на продуктивність та стійкість насаджень.

У таблиці 2 наведено біометричні показники ялицево-букових насаджень залежно від умов місцезростання у різних висотних поясах. Аналіз даних свідчить про чітку диференціацію таксаційних характеристик деревостанів у межах нижнього, середнього та верхнього гірських поясів.

У нижньому гірському поясі зафіксовано найвищу густоту насаджень – 1350 шт./га, що зумовлює максимальний запас деревини, який становить 340 м³/га, а також найбільший середньорічний приріст – 5,1 м³/га. Середня висота дерев у цих умовах досягає 28 м, за середнього діаметра 34 см.

Насадження середнього гірського поясу характеризуються дещо меншою густотою (1200 шт./га) та запасом деревини (310 м³/га).

Водночас у цьому поясі відмічено найбільші значення середньої висоти та діаметра дерев – відповідно 30 м і 36 см, що свідчить про сприятливі умови для індивідуального росту дерев. Середньорічний приріст тут становить 4,7 м³/га.

У верхньому гірському поясі спостерігається зменшення всіх досліджуваних показників: густота насаджень знижується до 950 шт./га, запас деревини – до 260 м³/га, а середньорічний приріст – до 4,2 м³/га. Середня висота та діаметр дерев також є найменшими і становлять відповідно 25 м та 31 см, що відображає обмежувальний вплив більш суворих ґрунтово-кліматичних умов на ріст і продуктивність ялицево-букових деревостанів.

Аналіз вікової структури свідчить, що найбільш продуктивними є середньовікові та пристигаючі насадження (60–100 років), де спостерігається максимальний приріст запасу деревини (табл. 3). Молодняки (до 40 років) характеризуються підвищеною густотою (понад 2000 шт./га), однак мають низький середній діаметр та запас. Старовікові насадження (понад 120 років) мають високий запас деревини, проте їхній середньорічний приріст зменшується.

Таблиця 2 – Біометричні показники ялицево-букових насаджень у різних умовах

Умови місце-зростання	Густота, шт./га	Запас деревини, м ³ /га	Приріст, м ³ /га/рік	Середня висота, м	Середній діаметр, см
Нижній гірський пояс	1350	340	5,1	28	34
Середній гірський пояс	1200	310	4,7	30	36
Верхній гірський пояс	950	260	4,2	25	31

Таблиця 3 – Вікова структура ялицево-букових насаджень

Вікова група	Густота, шт./га	Запас деревини, м ³ /га	Приріст, м ³ /га/рік
Молодняки (до 40 р.)	2100	140	3,1
Середньовікові (41–60 р.)	1600	280	4,8
Пристигаючі (61–100 р.)	1200	350	5,3
Стигли (101–120 р.)	950	370	4,4
Старовікові (>120 р.)	700	390	3,6

Результати показали, що у більшості дослідних ділянок переважають змішані ялицево-букові насадження з домінуванням бука європейського (*Fagus sylvatica* L.). Співвідношення між видами становить у середньому 60:40 (бук:ялиця) (табл. 4). У більш зволжених ділянках спостерігається більша частка ялиці білої (*Abies alba* Mill.), тимчасом на більш сухих і теплих ділянках – більша частка бука. На всіх облікових ділянках домінуючою породою є бук лісовий, частка якого коливається від 55 до 65 %. Максимальне представництво бука зафіксовано на ділянці № 1 (65 %), тимчасом мінімальне – на ділянці № 2 (55 %). Ялиця біла займає друге місце у структурі насаджень, її частка варіює в межах 30–40 %. Найбільша участь ялиці відмічена на ділянці № 2 (40 %), що свідчить про посилення її ролі у формуванні деревостану на цій території. На ділянках № 1 та № 3 частка ялиці становить відповідно 30 та 35 %. Інші деревні породи представлені незначною мірою і стабільно становлять 5 % на всіх дослідних ділянках, що вказує на відносну однорідність видового складу та переважання двох головних лісоутворювальних порід – бука лісового та ялиці білої.

Дослідження показали, що максимальний приріст деревини фіксується у період від 40 до 80 років, після чого відбувається поступове зниження. У ялицево-букових насадженнях середній приріст на 1 га за цей період може сягати 5–6 м³/га/рік, що перевищує показники монодомінантних букових чи ялицевих насаджень.

На рисунку 3 показано зміну середньорічного приросту залежно від віку насаджень.

Порівняння різних технологій вирощування показало, що природне поновлення забезпечує стійкість і генетичну різноманітність,

проте потребує більше часу для досягнення високої продуктивності. Підсадка саджанців ялиці у бучинах сприяє підвищенню видового різноманіття і формуванню змішаних насаджень. Використання селекційно відібраних саджанців дозволяє збільшити приріст на 10–15 % порівняно з природними популяціями. Агротехнічні заходи (освітлення, розчистка, догляд за підростом) позитивно впливають на виживаність і розвиток молодняків.

Практичні рекомендації для Карпат – пріоритет природного відновлення: збереження та стимулювання підросту ялиці й бука під пологом стиглих деревостанів. Регульовані рубки: застосування поступових, вибіркових та комбінованих рубок для створення вікон і «хвиль випуску» підросту. Урахування мікросередовища: збереження вологи та захист підросту від пізніх заморозків, перегріву і конкуренції трав'яного покриву. Захист від пошкоджень: обмеження випасу худоби, контроль чисельності копитних, охорона молодняків від витоптування. Адаптація до кліматичних змін: формування мішаних і різновікових лісів для підвищення стійкості до посух, шкідників і вітровалів. Використання локального насіння: перевага автохтонних популяцій у штучному відновленні для збереження генетичної різноманітності.

Таблиця 4 – Видова структура насаджень за ділянками, %

Ділянка	Бук	Ялиця	Інші породи
№ 1	65	30	5
№ 2	55	40	5
№ 3	60	35	5

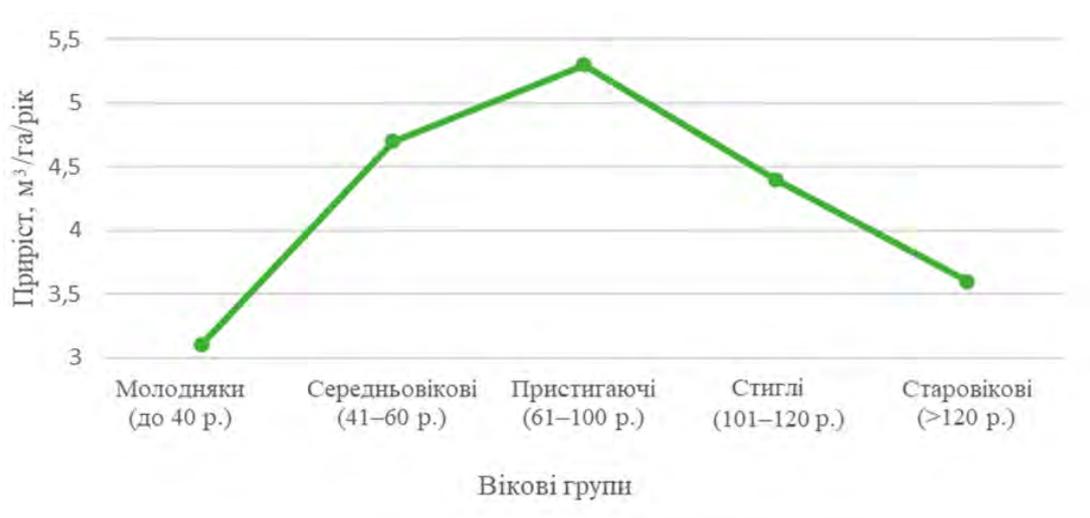


Рис. 3. Динаміка середньорічного приросту ялицево-букових насаджень у різних вікових групах.

Висновки. Проведений аналіз засвідчив, що застосування сучасних, наближених до природи технологій лісовідновлення в ялицево-букових лісостанах є ефективним способом формування стійких і продуктивних лісових екосистем. Найбільш результативними виявилися групові способи посадки, які забезпечують кращі світлові умови, вищу приживлюваність та інтенсивніший ріст дерев порівняно з традиційними рядковими методами. Поєднання штучного і природного поновлення з урахуванням типів лісу та вікових особливостей насаджень сприяє підвищенню екологічної стабільності, біорізноманіття й господарської цінності ялицево-букових лісів України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Contrasting effects of environmental change on the radial growth of co-occurring beech and fir trees across Europe / M. Bosela et al. *Science of the Total Environment*. 2018. 615. P. 1460–1469. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.092
2. The productivity of mixed mountain forests comprised of *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, and *Abies alba* across Europe / T. Hilmers et al. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2019. 92(5). P. 512–522. DOI: 10.1093/forestry/cpz035
3. Maxime C., Hendrik D. Effects of climate on diameter growth of co-occurring *Fagus sylvatica* and *Abies alba* along an altitudinal gradient. *Trees*. 2011. 25(2). P. 265–276. DOI: 10.1007/s00468-010-0503-0
4. Zimmermann J., Hauck M., Dulamsuren C., Leuschner C. Climate warming-related growth decline affects *Fagus sylvatica*, but not other broad-leaved tree species in Central European mixed forests. *Ecosystems*. 2015. 18(4). P. 560–572. DOI: 10.1007/s10021-015-9849-x
5. Lebourgeois F., Bréda N., Ulrich E., Granier A. Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees*, 2005. 19. P. 385–401. DOI: 10.1007/s00468-004-0397-9
6. Differential climate-growth relationships in *Abies alba* Mill. and *Fagus sylvatica* L. in Mediterranean mountain forests / A. Rita et al. *Dendrochronologia*. 2014. 32(3). P. 220–229. DOI: 10.1016/j.den dro.2014.04.001
7. Pretzsch H. Stand density and growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.): evidence from long term experimental plots. *European Journal of Forest Research*. 2005. 124. P. 193–205. DOI: 10.1007/s10342-005-0068-4
8. Competition for water rather than facilitation in mixed beech-fir forests after drying-wetting cycle / R.K. Magh et al. *Journal of Hydrology*. 2020. 587 p. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.124944
9. Фітоценотичні передумови всихання *Abies alba* Mill. у лісових ценозах Покутських Карпат / М. Сорока та ін. Наукові праці Лісівничої

академії наук України. 2019. 18. С. 21–34. DOI: 10.15421/411902

10. Системно-структурні особливості фітобіоти ялицево-букових лісів Покутських Карпат / М.І. Сорока та ін. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2024. (26). С. 20–34. DOI: 10.15421/412401

11. Response of the leaf phenology and tree-ring width of European beech to climate variability / T. Kolar et al. *Silva Fennica*. 2016. 50(2). DOI: 10.14214/sf.1520

12. Приндак В.П., Мерцало М.В., Куриляк В.М. Структура і ріст ялицево-букових деревостанів у НПП "Сколівські Бескиди". *Scientific Bulletin of UNFU*. 2024. 34(8). С. 29–39. DOI: 10.36930/40340804

13. Дослідження причин всихання деревостанів ялиці білої (*Abies alba* Mill.) в Українських Карпатах / О.О. Погрібний та ін. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. Т. 28. № 8. С. 9–13. DOI: 10.15421/40280801

14. Relationships between Tree Age and Climate Sensitivity of Radial Growth in Different Drought Conditions of Qilian Mountains, Northwestern China / L. Zhang et al. *Forests*. 2018. 9. P. 135–138. DOI: 10.3390/f9030135

15. Гостюк З.В. Антропогенна модифікованість ландшафтів Покутських Карпат. Український географічний журнал. 2018. 2(102). С. 43–50. DOI: 10.15407/ugz2018.02.043

16. Стан і структура ялицевих лісів Покутських Карпат / В.П. Лосюк та ін. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2022. Вип. 24. С. 79–90. DOI: 10.15421/412207

17. Стан і структура природних ялинових лісів Покутських Карпат / В.П. Лосюк та ін. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2021. 22. С. 52–67.

18. Latreille A., Davi H., Huard F., Pichot Ch. Variability of the climate-radial growth relationship among *Abies alba* trees and populations along altitudinal gradients. *Forest Ecology and Management*. 2017. 396. P. 150–159. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.04.012

19. Nothdurft A., Engel M. Climate sensitivity and resistance under pure and mixed-stand scenarios in Lower Austria evaluated with distributed lag models and penalized regression splines for tree-ring time series. *European Journal of Forest Research*. 2020. 139. P. 189–211. DOI: 10.1007/s10342-019-01234-x

20. Pretzsch H., Biber P., Uhl E., Dauber E. Long-term stand dynamics of managed spruce-fir-beech mountain forests in Central Europe: structure, productivity and regeneration success. *Forestry*. 2015. 88. P. 407–428. DOI: 10.1093/forestry/cpv013

21. Коваленко П.О. Сучасні технології відновлення лісів. Львів, 2019. 256 с.

REFERENCES

1. Bosela, M., Lukac, M., Castagneri, D., Sedmák, R., Biber, P., Carrer, M., Büntgen, U. (2018). Contrasting effects of environmental change on the

- radial growth of co-occurring beech and fir trees across Europe. *Science of the Total Environment*. no. 615, pp. 1460–1469. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.092
2. Hilmers, T., Avdagić, A., Bartkowicz, L., Bielak, K., Binder, F., Bončina, A., Pretzsch, H. (2019). The productivity of mixed mountain forests comprised of *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, and *Abies alba* across Europe. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. no. 92(5), pp. 512–522. DOI: 10.1093/forestry/cpz035
3. Maxime, C., Hendrik, D. (2011). Effects of climate on diameter growth of co-occurring *Fagus sylvatica* and *Abies alba* along an altitudinal gradient. *Trees*. no. 25(2), pp. 265–276. DOI: 10.1007/s00468-010-0503-0
4. Zimmermann, J., Hauck, M., Dulamsuren, C., Leuschner, C. (2015). Climate warming-related growth decline affects *Fagus sylvatica*, but not other broad-leaved tree species in Central European mixed forests. *Ecosystems*. no. 18(4), pp. 560–572. DOI: 10.1007/s10021-015-9849-x
5. Lebourgeois, F., Bréda, N., Ulrich, E., Granié, A. (2005). Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees*. no. 19, pp. 385–401. DOI: 10.1007/s00468-004-0397-9
6. Rita, A., Gentilesca, T., Ripullone, F., Todaro, L., Borghetti, M. (2014). Differential climate-growth relationships in *Abies alba* Mill. and *Fagus sylvatica* L. in Mediterranean mountain forests. *Dendrochronologia*. no. 32(3), pp. 220–229. DOI: 10.1016/j.dendro.2014.04.001
7. Pretzsch, H. (2005). Stand density and growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.): evidence from long-term experimental plots. *European Journal of Forest Research*. no. 124, pp. 193–205. DOI: 10.1007/s10342-005-0068-4
8. Magh, R.K., Eiferle, C., Burzlaff, T., Dannemann, M., Rennenberg, H., Dubbert, M. (2020). Competition for water rather than facilitation in mixed beech-fir forests after drying-wetting cycle. *Journal of Hydrology*. 587 p. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.124944
9. Soroka, M., Vozniak, A., Goichuk, A., Onys'kiv, A., Plikhtyak, P. (2019). Fitosenotychni peredumovy vsykhannya *Abies alba* Mill. u lisovykh tsenozakh Pokutskykh Karpat [Phytocoenotic prerequisites of silver fir dieback in forest communities of the Pokutian Carpathians]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy [Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine]*. no. 18, pp. 21–34. DOI: 10.15421/411902
10. Soroka, M.I., Vozniak, A., Plikhtyak, P.P., Goichuk, A.F., Kulbanska, I.M. (2024). Systemno-strukturni osoblyvosti fitobioty yalycevo-bukovykh lisiv Pokutskykh Karpat [System-structural features of the phytobiota of fir-beech forests in the Pokutian Carpathians]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy [Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine]*. no. 26, pp. 20–34. DOI: 10.15421/412401
11. Kolar, T., Giagli, K., Trnka, M., Bednarova, E., Vavrick, H., Rybnicek, M. (2016). Response of the leaf phenology and tree-ring width of European beech to climate variability. *Silva Fennica*. no. 50(2). DOI: 10.14214/sf.1520
12. Pryndak, V.P., Mertsalo, M.V., Kurilyak, V.M. (2024). Struktura i rist yalycevo-bukovykh derevostaniv u NPP "Skolivski Beskydy" [Structure and growth of fir-beech stands in Skole Beskids National Nature Park]. *Scientific Bulletin of UNFU*. no. 34(8), pp. 29–39. DOI: 10.36930/40340804
13. Pohrebnyi, O.O., Yusyovych, Yu.M., Zaiaka, V.K., Zaiachuk, V.Ya., Ostashuk, R.V., Kopolovets, Ya.M., Shalovylo, Yu.I. (2018). Doslidzhenia prychny vsykhannya derevostaniv yalytsi biloi (*Abies alba* Mill) v Ukrainykykh Karpatakh [Study of the causes of silver fir dieback in the Ukrainian Carpathians]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine]*. no. 28(8), pp. 9–13. DOI: 10.15421/40280801
14. Zhang, L., Jiang, Yu., Zhao, Sh., Jiao, L., Wen, Ya. (2018). Relationships between tree age and climate sensitivity of radial growth in different drought conditions of Qilian Mountains, Northwestern China. *Forests*. no. 9, pp. 135–138. DOI: 10.3390/f9030135
15. Hostiuk, Z.V. (2018). Antropohenna modifikovanishist' landshaftiv Pokutskykh Karpat [Anthropogenic modification of landscapes in the Pokutian Carpathians]. *Ukrainskyi Heohrafichnyi Zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*. no. 2(102), pp. 43–50. DOI: 10.15407/ugz2018.02.043
16. Losiuk, V.P., Pohrebnyi, O.O., Tomych, M.V., Chaskovskiy, O.H., Vandzhurak, P.I. (2022). Stan i struktura yalytsievkykh lisiv Pokutskykh Karpat [State and structure of fir forests in the Pokutian Carpathians]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy [Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine]*. no. 24, pp. 79–90. DOI: 10.15421/412207
17. Losyuk, V.P., Pohrebnyi, O.O., Tomych, M.V., Chaskovskiy, O.H., Vandzhurak, P.I., Debryniuk, Yu.M. (2021). Stan i struktura pryrodnykh yalynovykh lisiv Pokutskykh Karpat [State and structure of natural spruce forests in the Pokutian Carpathians]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy [Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine]*. no. 22, pp. 52–67.
18. Latreille, A., Davi, H., Huard, F., Pichot, Ch. (2017). Variability of the climate-radial growth relationship among *Abies alba* trees and populations along altitudinal gradients. *Forest Ecology and Management*. no. 396, pp. 150–159. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.04.012
19. Nothdurft, A., Engel, M. (2020). Climate sensitivity and resistance under pure- and mixed-stand scenarios in Lower Austria evaluated with distributed lag models and penalized regression splines for tree-ring time series. *European Journal of Forest Research*. no. 139, pp. 189–211. DOI: 10.1007/s10342-019-01234-x

20. Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., Dauber, E. (2015). Long-term stand dynamics of managed spruce-fir-beech mountain forests in Central Europe: structure, productivity and regeneration success. *Forestry*. no. 88, pp. 407–428. DOI: 10.1093/forestry/cpv013

21. Kovalenko, P.O. (2019). Suchasni tekhnologii vidnovlennia lisiv [Modern technologies of forest restoration]. Lviv, 256 p.

Modern technologies of reforestation in fir-beech forests (*Abies alba* – *Fagus sylvatica*)

Koliadzhyn I., Kotsylovskiy B., Koliadzhyn Yu., Hutsuliak M., Didyk V.

In the context of scientific and technological progress careful treatment of forests, rational use of their resources, caring for the regeneration and productivity enhancement, as well as the strengthening of environmental-forming and social functions of forests, are among the main tasks facing foresters in Ukraine.

The article highlights modern approaches to reforestation in silver fir-European beech forest stands (*Abies alba* Mill. – *Fagus sylvatica* L.), which are an important component of mountain and foothill forests of Central and Eastern Europe. Considering the increasing anthropogenic pressure and climate change, the need to improve technologies for restoring these forest ecosystems based on the principles of sustainable forest management is substantiated. The study analyzes the effectiveness of modern reforestation methods, including artificial and combined regeneration, as well as various planting layouts – row

and group methods (gap and wave planting). Particular attention is paid to the influence of planting methods on seedling survival, growth dynamics in terms of height and diameter, trunk formation, and the overall stability of forest stands. It has been shown that group planting methods provided better light conditions, promoted more intensive growth, and contributed to the formation of a more stable spatial structure of stands compared to traditional row planting. The age-related characteristics of the development of fir-beech stands have been analyzed, which made it possible to identify patterns of changes in growth indicators at different stages of ontogenesis. The expediency of combining modern reforestation technologies with the principles of close-to-nature silviculture, which contributes to increasing the productivity, ecological stability and biodiversity of fir-beech forests has been emphasized. The obtained generalizations can be used to develop practical recommendations for the restoration and formation of indigenous fir-beech forest stands under various forest vegetation conditions.

The study of forest regeneration processes in beech and fir forests has shown that European beech regenerates well under the canopy of parent stands in almost all major forest types, with the best regeneration observed in moist beech forests, fir forests, and mixed fir-beech forests at medium stand density.

Key words: forest resources, sustainable forest management, reforestation, forest productivity, increase in forest cover, forest types, European beech, silver fir, forest stands.



Copyright: Коляджин І.Ф. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Коляджин І.Ф.

<https://orcid.org/0000-0001-8045-5678>

Коциловський Б.А.

<https://orcid.org/0009-0001-3791-395x>

Коляджин Ю.І.

<https://orcid.org/0009-0004-8902-7214>

Гуцуляк М.І.

<https://orcid.org/0009-0003-0046-5035>

Дідик В.М.

<https://orcid.org/0009-0006-7317-9488>